

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: X200440016

UDC _____

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

基于肤色和 AdaBoost 算法的彩色
人脸图像检测

Face Detection in Color Images based on Skin Color and
AdaBoost Algorithm

方 彦

指导教师姓名: 段 鸿 讲 师

专 业 名 称: 软 件 工 程

论文提交日期: 2008 年 5 月

论文答辩日期: 2008 年 月

学位授予日期: 2008 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2008 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。
本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。

2、不保密（√）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

人脸检测是确定人脸的位置和大小的图像处理过程。近年来人脸检测一直是计算机视觉和模式识别领域的一个研究热点和难点，其在安全访问控制、视觉监测、基于内容的检索等领域具有广泛的应用价值。

本文针对复杂背景下的彩色图像，构建了基于肤色和 AdaBoost 算法相结合的人脸检测系统，并在自制的人脸图像数据库上进行测试。

本文首先介绍了人脸检测技术研究背景和意义，归纳和分析了目前常用的一些人脸检测算法，然后提出了一个新的人脸检测方法。该方法包含三个部分的内容：首先，通过分析和比较肤色在各种色彩空间中的聚类性之后，建立了在 YCgCr 空间中的肤色高斯模型，并在自适应阈值选取算法下完成肤色区域的分割，得到二值化后的图像；接着，采用数学形态学对二值化后的图像进行滤波处理，再利用一些人脸的先验知识对所得到的肤色区域进行筛选，进一步剔除类肤色区域和裸露在外的非人脸区域，减少了后续检测的工作量；最后，将候选区域与 AdaBoost 算法所检测出的人脸区域相结合，提高系统的检测性能。

论文最后对本文方法进行了实现并给出实验结果，同时指出该方法的特点与不足之处，明确了今后进一步研究的方向。

关键词：人脸检测；肤色模型；YCgCr；AdaBoost 算法

Abstract

Human face detection is to locate the faces and determine their sizes in an image. Human face detection has recently been a hot spot of Computer Vision field. It is valuable in many different fields including security access control, visual surveillance, content-based information retrieval and so on.

This paper is focus on complex background images. We build up a system for face detection based on skin color and AdaBoost algorithm, and do some testing in our face database.

This paper firstly introduces the face detection's background, summarizes and analyzes current algorithms on face detection, then presents a new face detection method. The method is discussed on details as follows. Firstly, the method analyzes and compares complexion's clustering in different color space, and then establishes Gaussian Model based on the color space of YCgCr. After Skin color segmentation is carried out with the method of automatic threshold selection, the two-value images are obtained. Then we get candidate face regions using the filter based on mathematical morphology. After this, we can utilize some general knowledge of human face to select these candidate face regions. By doing these, the fake regions can be eliminated, and we can decrease those jobs in the further steps. Finally, we combine these candidate regions with the face regions detected by AdaBoost algorithm to improve the detection performance.

At last, the method is implemented and experiment results are given out in this paper. At the same time, the paper points out the advantage and the weakness in our method and what we need to work hard in the future.

Keywords: Human Face Detection; Skin Model; YCgCr; AdaBoost Algorithm

目 录

第一章 绪论	1
1.1 选题背景及意义	1
1.2 人脸检测系统的评价标准	2
1.3 人脸检测方法综述	2
1.3.1 基于知识的人脸检测方法	3
1.3.2 基于模板匹配的人脸检测方法	5
1.3.3 基于统计的人脸检测方法	5
1.4 论文章节安排	9
第二章 基于肤色分割的人脸检测	10
2.1 肤色的聚类特性	10
2.2 色彩空间	12
2.2.1 色彩空间的介绍	12
2.2.2 色彩空间的选取	16
2.3 肤色模型	18
2.3.1 肤色模型的介绍	19
2.3.2 肤色模型的建立	20
2.4 图像预处理	22
2.5 肤色区域分割	22
2.5.1 肤色似然图	22
2.5.2 图像二值化	24
2.5.3 滤波去噪	25
2.6 候选区域的筛选	27
2.6.1 区域的长宽比	27
2.6.2 区域的面积	28
2.6.3 区域面积占有率	28
2.6.4 区域的重心	29

2.7 部分实验结果	29
第三章 基于AdaBoost的人脸检测算法	31
3.1 haar-like矩形特征	31
3.2 利用积分图像计算矩形特征	34
3.3 AdaBoost算法	36
3.4 级联分类器	37
3.5 开源软件OpenCV	38
第四章 基于肤色和AdaBoost算法的人脸检测	40
4.1 肤色检测的优缺点	40
4.2 AdaBoost算法的优缺点	40
4.3 基于肤色和AdaBoost算法的人脸检测	40
4.4 实验结果及分析	41
第五章 总结与展望	49
5.1 论文小结	49
5.2 进一步工作	49
参考文献	51
致 谢	55

Contents

Chapter1 Introduction.....	1
1.1 Background.....	1
1.2 Evaluation Standard.....	2
1.3 Survey of Face Detection Method.....	2
1.3.1 Face Detection Based on Knowledge.....	3
1.3.2 Face Detection Based on Template Matching.....	5
1.3.3 Face Detection Based on Statistical Pattern.....	5
1.4 Structure Arrangement.....	9
Chapter2 Face Detection Based on Skin Segmentation..	10
2.1 The Clustering Character of Skin Color.....	10
2.2 Color Space.....	12
2.2.1 Introduction of Color Space.....	12
2.2.2 Selection of Color Space.....	16
2.3 Skin Color Model.....	18
2.3.1 Introduction of Skin Color Model.....	19
2.3.2 The Skin Color Model.....	20
2.4 Image Preprocessing.....	22
2.5 Skin Region Segmentation.....	22
2.5.1 Skin-likelihood Image.....	22
2.5.2 Image Binarization.....	24
2.5.3 Image Noise Reduction.....	25
2.6 Selection of The Candidate Face Regions.....	27
2.6.1 Length-Width Ratio.....	27
2.6.2 Face Region Area.....	28
2.6.3 Area Occupancy.....	28
2.6.4 Region Gravity Center.....	29
2.7 Part Results.....	29

Chapter3	Face Detection based on AdaBoost Algorithm	31
3.1	Haar-like Feature.....	31
3.2	Calculation of the Integral Image Value.....	34
3.3	AdaBoost Algorithm.....	36
3.4	Cascade Classifier.....	37
3.5	Introduction of Open Source Computer Vision.....	38
Chapter4	Face Detection Based on Skin Color and AdaBoost Algorithm.....	40
4.1	The Advantages and Disadvantages of Skin Detection.....	40
4.2	The Advantages and Disadvantages of AdaBoost Algorithm	40
4.3	Face Detection Based on Skin Color and AdaBoost Algorithm	40
4.4	Experimental Results and Analysis.....	41
Chapter5	Conclusion.....	49
5.1	Conclusion.....	49
5.2	Future Work.....	49
Reference	51	
Acknowledgement	55	

第一章 绪论

1.1 选题背景及意义

随着社会各方面对安全可靠性的需求的日益迫切,以及计算机技术的迅速发展,生物特征的自动识别技术得到广泛的研究与开发。由于人体的指纹、掌纹、视网膜、人脸等生物特征具有唯一确定性,因此这些生物特征成为了身份确定的重要识别特征。与指纹、掌纹、视网膜等其他生物特征识别相比,人脸识别具有直接、方便、用户友好等优点,从而开发研究的实际意义更大。人脸识别在安全、金融、互联网等领域都有着极为广泛的应用价值。

人脸检测最初来源于人脸识别,是自动人脸识别系统中的一个关键环节。人脸检测(Face Detection)是指在输入图像中确定所有人脸(如果存在)的位置与大小的过程^[1]。人脸检测系统的输入是可能包含人脸的图像,输出是关于图像中是否存在人脸以及人脸的数目、位置等信息的参数化描述。

人脸是一类具有相当复杂的细节变化的自然结构目标,此类目标的检测问题存在着较大的挑战。

- (1) 人脸本身差异性很大。虽然每张脸都有眼睛、鼻子、嘴,且都按照一定的空间结构分布,但是从不同个体的肤色、大小、形状到同一个体的表情、位姿等差异,以及人脸随年龄增长而发生变化等都直接影响到人脸的检测和识别。
- (2) 人脸模式具有多样性。不同的人脸上可能有不同的修饰物,如胡须、发型、眼镜等;尤其是化妆技术,使得人脸上的器官呈现不同的色度和灰度,这些都需要检测算法来适应。
- (3) 成像易受环境的影响。如采集设备的性能和光照条件(光照的强度、光源的颜色和角度)等差异都会直接影响图像的采集。另外,人脸是一种三维物体,故不可避免的会受到光照产生的阴影的影响^[2]。
- (4) 在待检测的背景图像中,有人脸图像,还有类似于人脸的非人脸图像,这些非人脸图像往往被误识为人脸图像,这是人脸检测待解决的一个问题。

- (5) 人脸图像数据量大。目前出于计算量的考虑, 人脸检测、识别算法的研究大多使用尺寸很小的图像, 因此很多算法的实时性很差。

总之, 这些诸多因素的影响使得人脸检测和识别具有一定的难度和复杂性。如果能够找到解决上述这些问题的方法, 成功的构造出人脸检测系统, 将为解决其它类似的复杂模式的检测问题提供重要的启示。

1.2 人脸检测系统的评价标准

人脸检测是一个模式识别问题, 其模式分为人脸和非人脸。人脸检测的任务是先对输入的图像进行分割, 即把整幅图像分割成两部分: 一部分为人脸区域, 另一部分为非人脸区域, 从而完成人脸定位工作。为了反映出人脸检测系统的性能, 常用的性能指标包含: 检测正确率、误检率、漏检率和检测速度。检测正确率是被正确检测到的人脸数目与测试图像集中包含的人脸数目的比值。检测率越高, 说明检测系统对人脸的接受能力越强。检测率无法反映系统对非人脸的排除能力, 有可能出现这种情况: 所有人脸都被检测到, 同时很多非人脸区域也被误认为是人脸。因此引入误检率来衡量系统对非人脸样本的排除能力。误检率(虚警率或误报率)是被误检为人脸的非人脸数目与测试图像集内被正确检测到的人脸数目的比值。误检率越低, 说明检测系统对非人脸的排除能力越强。漏检率是指未检测到的人脸数目与总人脸数目的比值。检测速度是一个检测系统优劣的重要指标, 它与实验平台有关, 很难客观的比较, 通常给出典型图片的处理时间作为参考。这四个标准是相互制约的, 如检测率和误检率就经常需要权衡。实践表明: 误检率会随着检测率的提高而提高, 检测率随着误检率的降低而降低。在检测率和误检率达到满意的前提下, 检测速度越快越好。

1.3 人脸检测方法综述

人脸检测方法大体可以分为三类: 第一类基于知识的方法, 它直接利用人脸信息, 一般都是先提取人脸的各种基本特征(肤色、几何结构等), 然后根据先验知识推出的一组规则来检测人脸。当满足这些规则的图像区域找到后, 则认为一幅人脸已被检测出来, 然后可以对候选的人脸区域进行进一步的验证, 以确定候选区域是否包含人脸。第二类基于模板匹配的方法, 该方法首先根据人脸的先验

知识确定出标准人脸模板以及各个器官特征的子模板,然后计算输入图像与人脸模板以及器官特征子模板的相关值,根据这些相关值可确定输入图像中是否存在人脸。第三类基于统计的方法,这种方法的思想与模板匹配方法的不同之处在于,它并不直接利用人脸信息,人工的对人脸进行分析或者抽取模板,也不对输入图像进行复杂的处理,而是将人脸区域看作一类模式,搜集大量的人脸和非人脸样本作为训练集,通过学习的方法在训练样本集上建立一个能对人脸和非人脸样本进行正确识别的分类器,然后对被检测图像进行全局扫描,用分类器检测扫描到的图像窗口中是否包含人脸。

1.3.1 基于知识的人脸检测方法

(1) 面部特征法

虽然人脸在外观上变化很大,人脸各个器官的分布具有一定的规律,例如人的两个眼睛总是对称分布在人脸的上半部分,鼻子和嘴唇中心点的连线基本与两眼之间的连线大体垂直,灰度图像中眼睛要比脸上其他地方暗等。因此一些方法首先检测器官(如双眼、鼻子、嘴等)或局部特征,然后根据它们的相对位置关系判断整个区域是否为人脸。Yang等^[3]提出的Mosaic方法是典型例子。该方法利用 4×4 镶嵌图将人脸分块,并根据每块的灰度值制定准则来进行判定。虽然Yang的方法在检测性能方面并不突出,但是这种由粗至细的检测思想对以后的研究工作产生积极的影响。

(2) 轮廓规则法

人脸的轮廓可以近似地看成一个椭圆,因此人脸检测可以通过椭圆检测来完成。Goyindaraju^[4]提出认知模型方法,将人脸建模为两条直线(左右两侧面颊)和上下两个弧(头部和下巴),通过修正Hough变换来检测直线和弧。Tankus^[5]利用凸检测的方法进行人脸检测。

(3) 结构特征法

人脸的各器官具有一定的对称性。Zabrodshky^[6]提出连续对称性检测方法,检测一个圆形区域的对称性,从而确定是否为人脸。Riesfield^[7]提出广义对称变换方法检测局部对称性强的点来进行人脸器官定位。卢春雨^[8]则定义方向对称变换,分别在不同方向上考察对称性,不仅能够用来寻找强对称点,而且可描述有

强对称性物体的形状信息，在进行人脸器官定位时更为有效。

(4) 颜色特征法

在彩色图像中，人脸的肤色是一个显著的特征。人脸的肤色在某些特定的颜色空间中具有比较好的聚类特性。目前人脸检测常用的色度空间主要有 RGB（三基色）、rgb（亮度归一化三基色）、HSI（色调、饱和度、亮度）、YCbCr（CCIR601 编码方式的色度模型）和 YCgCr 等。研究者利用肤色的聚类特性建立肤色模型。常用的肤色模型有简单色度空间模型、高斯模型、混合高斯模型和统计直方图模型等。在确定肤色模型之后，进行肤色检测。在检测出肤色像素后，需要根据它们在色度上的相似性和空间上的相关性分割出可能的人脸区域。

J. C. Terrillon 等^[9]对两种不同色度模型和在九种色度空间下的人脸检测性能进行了分析和比较。对选取合适的颜色空间进行人脸检测提供了参考依据。Jones 等^[10]搜集了上万张肤色区域标定的图片（包括上十亿个像素点）来建立肤色和非肤色两类的直方图模型，并且比较了直方图模型和混合高斯模型的性能。R. L. Hsu 等^[11]在 YCbCr 空间中利用改良的光照补偿技术和非线性颜色变换，首先找到人脸轮廓区域，然后对人脸轮廓区域进行一系列处理生成嘴图（Mouth Map）和眼图（Eye Map）。以此来对人脸以及眼和嘴进行精确的定位。由于图像中可能存在与人脸肤色相近的目标，因此，单独利用肤色信息进行人脸检测往往会造成漏检或误检，一般需要将其与其它特征结合使用，以排除其它色彩类似肤色的物体。艾海舟等^[12]采用肤色和模板相结合的方法进行人脸检测。该方法首先使用 HSI 空间的肤色统计模型分割出可能包含人脸的区域，然后使用平均脸模板匹配和人工神经网络验证的方法在这些区域中搜索人脸。经过实验，在单人脸正面无背景测试集和背景复杂且人脸姿态各异的测试集中均得到了较高的检测率。

这些方法都是充分利用已知的人脸知识信息，从而进行人脸的提取。利用人脸的轮廓、对称性等少量特征的方法适用于较强约束条件下（如简单背景、头肩图像）的人脸检测。由于使用的特征较少，此类算法可以达到较高的检测速度，实现实时检测与跟踪。利用人脸五官分布特征的知识模型方法能够在一定程度上适用于复杂背景图像中的人脸检测，同时达到较高的检测速度。颜色特征法对光照条件和图像采集设备的特性较为敏感，易受环境因素的干扰，但其优势在于系统的运行速度快，受姿态、尺寸、表情等变化的影响小，适合于粗定位或一些对

运行时间有较高要求的应用。但是需要看到,要想进一步提高知识模型的适应能力,需要综合更多的特征,这实际上涉及到图像理解这一困难的问题。这是此类方法进一步发展遇到的主要障碍。

1.3.2 基于模板匹配的人脸检测方法

基于模板匹配的方法分为:固定模板法和变形模板法。固定模板方法首先制定出标准的模板,然后计算检测区域和模板的相关值,当相关值符合制定的准则就判断检测区域为人脸。变形模板首先制定出模板参数,然后根据检测区域的数据对参数进行修改直至收敛,以达到检测出人脸面部器官位置的目的。

Miao等^[13]提出了一种层次模板匹配的方法,从输入图像中提取可能对应于眉毛、眼睛、嘴等器官的水平方向的马赛克边缘,计算各段边缘的“重心”后,使用“重心”模板进行匹配,最后使用灰度和边缘特征验证匹配的结果。该方法对人脸位姿的变化具有较强的适应能力。梁路宏等^[14]提出“双眼—人脸”模板的方法,首先使用手工剪裁出的双眼模板进行粗筛选,然后再使用不同长宽比的人脸模板进行匹配,最后使用马赛克规则进行验证。该方法优点是鲁棒性较好,缺点是计算代价较大等。

Cootes等^[15]提出的主动形状模型(Active Shape Models, ASM)是变形模板中的经典方法,现在很多学者仍以此为基础,进行更加深入的挖掘和研究。2004年,Cootes又提出了一种新的统计形状模型方法,称为平滑(Diffeomorphic)统计形状模型方法^[16]。

1.3.3 基于统计的人脸检测方法

基于统计的方法是目前比较流行的方法,是解决复杂的人脸检测问题的有效途径。目前国际上采用较多的是特征空间、概率模型、人工神经网络、支持向量机和 Adaboost 学习算法等方法训练出一个分类器来检测人脸。这类方法由于训练样本规模一般较大,所以检测时间都比较长,正确识别率较高。下面介绍几种最有代表性的方法。

(1) 基于特征空间的方法

基于特征空间方法是将人脸区域图像变换到某一特征空间,根据其在特征空

间中的分布规律划分“人脸”与“非人脸”两类模式。主分量分析(Principal-Component Analysis, PCA)是一种常用的方法。它根据图像的统计特性将样本图像进行正交变换(K-L变换),以消除原有向量各个分量间的相关性,取变换后所得到的最大的若干个特征向量来表示原来的图像,保留了原图像差异的最大信息。Turk 等^[17]将PCA方法用于人脸检测与识别,他们将人脸图像投影到一个若干个最大的特征向量的子空间里。与基于外在特征的人脸检测相比,这些特征向量并不对应特定的面部器官,如眼、鼻、嘴等。若要显示某个特定的人脸,只要通过对这些特征向量加权求和便可。因此这些特征向量也被称为“特征脸(Eigenfaces)”,该方法也常被成为特征脸方法。Moghaddam等^[18]发现人脸在特征脸空间的投影聚集比较紧密,因此利用前若干张特征脸投影到主成分空间 F 和其正交补空间 \bar{F} ,并定义相应的距离度量分布为DIFS(Distance In Feature Space)和DFFS(Distance From Feature Space)。由于没有考虑“非人脸”样本的分布,需要同时使用DIFS和DFFS才能取得较好的效果。

MIT的Sung等^[19]提出了基于事例学习的方法。他们首先采用k均值聚类方法在特征空间中将“人脸”和“非人脸”样本各自聚成六个类,这种聚类方法使得“人脸”与“非人脸”样本分布的边界更为清晰。然后设置两组距离矩阵来度量检测数据和十二个样本类的距离。最后使用这些距离矩阵来训练一个多层感知器作为分类器进行人脸检测。此外,在该文中Sung等提出了一种搜集样本的方法:自举(Bootstrap)法。该方法首先建立一个仅使用“人脸”样本的初始分类器对一组图像进行检测,将所有的误检结果(不是人脸而被错检为“人脸”)加入“非人脸”样本库中,构造新的使用“人脸”与“非人脸”簇的分类器重新检测。以上过程不断迭代,直到收集了足够的“非人脸”样本。

属于特征空间方法的还有因子分解方法(Factor Analysis, FA)和 Fisher 准则方法(Fisher Linear Discriminate, FLD)等。

(2) 基于人工神经网络的方法

人工神经网络(ANN)方法是通过训练一个网络结构,把模式的统计特征隐含在ANN的结构和参数之中。最早使用人工神经网络进行人脸检测的是Propp 和 Samal。CMU的Rowley等^[20-22]对正面端正人脸和正面旋转人脸的检测单独进行了研究。对于正面端正人脸的检测,仅使用了正面人脸检测ANN。输入是规定尺

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库